

- 4.Слезкин Н.А. Динамика вязкой несжимаемой жидкости. – М.: ГИТТЛ, 1955. – 520 с.
- 5.Голоскоков Д.П. Уравнения математической физики. – СПб.: Питер, 2004. – 539 с.
- 6.Янке Е., Эмде Ф., Леш Ф. Специальные функции. – М.: Наука, 1977. – 344 с.
- 7.Садковой В.П., Абрамов Ю.А. Оценка быстродействия датчиков первичной информации систем автоматического пожаротушения со сферическим терморезистивным чувствительным элементом // Проблемы надзвичайних ситуацій. Вип.3. – Харків: АЦЗУ, 2006. – С.128-137.

Получено 31.05.2006

УДК 624.012.41

М.С.ЗОЛОТОВ, канд. техн. наук, И.В.СИМЕЙКО

Харьковская национальная академия городского хозяйства

НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ ГИБКИХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СТЕРЖНЕЙ

Рассматривается характер работы центрально и внецентренно сжатых элементов, проанализирован характер их деформирования, рассмотрено влияние величины эксцентриситета на характер деформирования стержня, указаны основные методы расчета сжато-изогнутых стержней, определены неточности расчетов и пути их совершенствования.

В последнее время вопрос несущей способности и деформативности железобетонных стержней не находит должного внимания в научных работах отечественных и зарубежных учёных. Это вызывает удивление, особенно учитывая трудности, с которыми сталкиваются при решении вышеуказанной проблемы в инженерной практике, например, нелинейный характер деформирования железобетона, различие его деформативно-прочностных характеристик при сжатии и растяжении; влияние возраста бетона на его прочность; возможное наличие трещин в растянутой зоне; перераспределение усилий между бетоном и арматурой вследствие внутренней статической неопределимости между сечениями для внешне статически неопределимых стоек. Очевидно и то, что методика, предлагаемая действующими нормами, не учитывает такие факторы, как класс бетона и арматуры, процент армирования, что существенно сказывается на точности расчётов, особенно с переходом в настоящее время к новым классам арматурного проката, имеющего более высокие прочностные характеристики.

Сегодня применение высокопрочных бетонов и арматурных сталей повышенной прочности позволяет уменьшить площади поперечных сечений стержней и, следовательно, повысить их гибкость, что в свою очередь приводит к тому, что устойчивость самих элементов яв-

ляется решающей при определении их несущей способности. Поэтому внедрение более эффективных материалов для железобетонных конструкций требует постоянного совершенствования методов их расчёта на устойчивость.

Анализ работ [1-3] по исследованию несущей способности стержней показывает, что их в основном можно разделить на две группы. К первой группе относятся предложения, базирующиеся на критерии устойчивости, ко второй – на критерии прочности с учётом влияния прогиба (учёт деформированного состояния).

Указанное разделение характерно не только для железобетонных стержней. В современной строительной механике считается целесообразным рассматривать устойчивость первого и второго рода. Потеря устойчивости первого рода (Эйлерова потеря устойчивости) для сжатого стержня сопровождается возникновением нового вида деформации – изгиба вместо сжатия $P \leq P_{кр}$. Потеря устойчивости второго рода происходит в результате чрезмерного развития первоначального вида деформаций без перехода в новый вид. После нарушения равновесия нарастание деформации происходит без увеличения нагрузки и даже при её уменьшении.

Таким образом, несмотря на отличие в поведении сжатого изогнутого стержня от поведения центрально сжатого потеря устойчивости в обоих случаях имеет одну природу – нарушение равновесия между внутренними и внешними силовыми факторами.

Данное нарушение вызвано различными причинами. Для большинства встречающихся в инженерной практике железобетонных колонн оно вызвано наступлением предельного состояния в бетоне или арматурной стали, либо одновременно в двух составляющих элемента. Такой вид потери устойчивости деформирования сравним с потерей прочности.

В инженерной практике имеет место и другой случай – когда напряжение в сжатом бетоне и арматуре далеки от предела, а конструкция перестаёт сопротивляться внешней нагрузке. Происходит потеря устойчивости в классическом виде.

Как показывает практика и исследования, проведенные некоторыми авторами, классическая потеря устойчивости для гибких внецентренно сжатых железобетонных стержней возможна лишь при начальных эксцентриситетах $e_0 \leq 0,4 h$ (где h – высота сечения). При $e_0 > 0,4 h$ потеря несущей способности вызывается достижением напряжений в арматуре или бетоне предельных характеристик.

Реальные железобетонные стержни всегда имеют эксцентриситеты, связанные с неоднородностью бетона, неточностями в расположении арматуры, условиями изготовления элементов. В связи с этим работа реальных гибких железобетонных сжатых стержней характеризуется тем, что с возрастанием продольной нагрузки возникает и растёт прогиб стержней, вызывая возрастание изгибающих моментов и снижая тем самым их несущую способность по сравнению с центрально сжатыми элементами. Из этого следует, что классическая (Эйлерова) потеря устойчивости вообще не встречается в железобетонных элементах.

В литературе по расчёту железобетонных конструкций имеется сравнительно много предложений по расчёту внецентренно-сжатых гибких железобетонных элементов.

Одним из первых учёных, остановившихся на обсуждаемой проблеме, был А.В.Геммерлинг [2, 3]. Он предложил метод двух расчётных сечений. Первое расчётное сечение служит для определения напряжений и деформации сжато-изогнутого элемента; второе сечение используется при определении максимальной величины внецентренно приложенной нагрузки N .

Данный метод позволит разложить полные деформации и напряжения в сечении стержня из упругопластического материала на их простейшие составляющие (сжатие, изгиб и т. д.), выявить связь между полными деформациями и напряжениями и их приращениями.

Для определения максимально возможной нагрузки N приравнивается к критической силе Эйлера N_3 центрально сжатого элемента с параметрами второго расчётного сечения:

$$N_3 = \frac{\pi E_6 J}{l_0^2}, \quad (1)$$

где J – момент инерции сечения; l_0 – длина стержня.

Неточность данного метода заключается в том, что он действует лишь в пределах закона Гука (т.е. в пределах пропорциональности материала) и при достаточно малых, по сравнению с длиной стержня, прогибах.

В работах [1, 6] решена более общая задача устойчивости железобетонных стержней внецентренно сжатых с различными эксцентриситетами и при различных граничных условиях. Значение критической силы, например, шарнирно опёртого по концам стержня получено в виде

$$P_{кр} = \frac{P_{эйл}^0}{1 + \frac{8}{\pi} \sqrt{\frac{2}{3}} \sqrt{l_0 k_1^{6H} + l_0 k_1^{6H}}}, \quad (2)$$

где $k_1^{6H} = \frac{P_{эйл}^0 - P_{эйл}^{кр}}{M_{np}^{6H}}$.

Жёсткость по длине стержня переменная и записывается в виде:

$$D = D_0 \left[1 - \left(1 - \frac{D_{np}}{D_0} \right) \frac{M_{np}}{M_{np}^{6H}} \right], \quad (3)$$

где D_0 и D_{np} – жёсткости при нулевом и предельном напряжённом состоянии; M_{np} – предельный изгибающий момент; M_{np}^{6H} – предельный изгибающий момент, определённый с учётом внецентренного сжатия.

Необходимо отметить, что принятый закон изменения жёсткости в ряде случаев не отражает характера деформированного состояния.

Как показывают экспериментальные исследования, например, И.А.Нисканена и Е.А.Чистякова [5], распределение деформаций по длине элемента не подобно распределению моментов, а зависит от многих факторов.

Естественно, что перечисленные выше и другие допущения делают рассматриваемые методы расчёта достаточно приближёнными.

Учитывая вышеизложенное, можно утверждать, что вопросы деформативности внецентренно сжатых элементов изучены значительно меньше, чем вопросы их прочности. Следует заметить, что в области исследования деформативности бетона при эксцентричном сжатии кратковременной и длительной нагрузкой известно сравнительно мало работ.

Отсутствие единой методики расчёта несущей способности внецентренно сжатых элементов объясняется недостаточной изученностью вопроса их деформативности.

Таким образом, проблема устойчивости железобетонных колонн далека от своего окончательного решения и требует дальнейшего проведения значительного объёма экспериментальных и теоретических исследований. Особенно актуальна она в связи с ремонтом и усилением железобетонных колонн с применением новой арматуры и приме-

нением различных материалов, в том числе полимерных.

1.Бондаренко В.М., Чихладзе Э.Д. К расчёту устойчивости гибких железобетонных статически неопределимых стержней // Межотраслевые вопросы строительства: Реф. сб. Вып.5. – М., 1970. – С.22-26.

2.Геммерлинг А.В. Несущая способность стержневых стальных конструкций. – М.: Госстройиздат, 1958. – 66 с.

3.Геммерлинг А.В. Расчёт стержневых систем. – М.: Стройиздат, 1974. – 202 с.

4.Гольшев А.Б., Бачинский В.Я. и др. Устойчивость внецентренно сжатых железобетонных стержней, упруго защемленных по концам // Строительные конструкции. Вып. XIX. – К., 1972. – С.14-19.

5.Чистяков Е.А., Нисканен И.А. Расчёт гибких сжатых железобетонных стержней с приближенной оценкой изменения кривизны по их длине // Сб. трудов НИИЖБ. – М.: 1971. – С.120-128.

6.Чихладзе Э.Д. Устойчивость гибких внецентренно сжатых железобетонных стержней при различных схемах загрузки: Дисс. ... канд.техн. наук. – Харьков: ХИСИ, 1968. – 161 с.

Получено 29.06.2006

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Абрамов Ю.А. 336
Алаев П.Н. 218
Алексахин А.А. 169
Андрейченко В.П. 244

Бабіч І.О. 275
Бабушкин В.И. 106
Бантюкова С.О. 307
Басманов А.Е. 332
Басов Г.Г. 275
Берлізев Р.М. 234
Бобух А.А. 164
Бойко Л.Г. 124
Брезинский В.Г. 161
Будниченко В.Б. 234
Бутник С.В. 56

Вакуленко Е.Е. 304
Вдовиченко В.О. 281

Гавриленко И.А. 193
Гайдуков В.Е. 244
Галінська Т.А. 111
Глазунов Ю.В. 26
Головина Е.И. 226
Горпинко Ю.І. 180
Гриб О.Г. 209

Далека В.Д. 247
Даниленко А.Л. 56
Денисенко А.П. 56

Денисенко О.В. 281
Довнар Ч.С. 35
Дубина О.С. 175
Дьяков Е.Д. 161

Еременко С.А. 329
Ссипенко А.Д. 259

Золотов М.С. 44, 343
Золотов С.М. 56

Исмагилов А.О. 97

Казимагомедов И.Э. 106
Калініченко О.П. 281
Ковалев Д.А. 164
Коваленко Д.М. 239
Коляда Т.А. 318
Костюк Т.А. 106
Костюченко А.А. 3
Кочетов Г.М. 141
Кулагіна Л.І. 234
Кустенко А.А. 264

Лапшин А.С. 3
Левашова Ю.С. 155
Лугченко Е.И. 91
Мельман В.А. 120
Мигаль Г.В. 313
Мінесва Ю.В. 239
Митрофанов В.П. 6